

## Cepheus OB3 Üyesi CW Cep'in Işık Eğrisi Analizi

E. Soyduğan<sup>1</sup>, A. Erdem<sup>1</sup>, O. Demircan<sup>1</sup>, F. Soyduğan<sup>1</sup>, V. Keskin<sup>2</sup>, C. Çiçek<sup>1</sup>  
S. Özdemir<sup>1</sup> ve İ. Bulut<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu

**Özet.** Algol türü, ayırık çift yıldız CW Cep'in, 2000 yılında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde B ve V süzgeçlerinde elde edilen ışık eğrileri Wilson-Devinney (1992) yöntemi ile çözüldü. Literatürde, sistemin eş-dönme göstermediğinin belirtilmesi nedeniyle; bir karşılaştırma yapabilmek için, sistemin, eş-dönme gösterdiği ve eş-dönme göstermediği durumlarda çözümü araştırıldı. Ayrıca, diğer bir denemede üçüncü cismin katkısı ele alındı. Gözlenen ışık eğrilerine en iyi uyan yaklaşımın, sistemin eş-dönme gösterdiği ve üçüncü cismin katkısının da eklenmesi sonucunda yapılan çözümler elde edildiği bulundu. Dört farklı çözüm sonucunda; sistemin fiziksel ve geometrik parametreleri belirlendi ve sonuç parametreleri kullanılarak, elde edilen teorik eğrilerin gözlemsel veriyle uyumuna bakıldı.

### 1. Tarihçe

CW Cep (HD 218066,  $m_v=7^m.6$ , Sp. type=B0.5 V,  $P=2^d.73$ ) 1942'de çift çizgili tayfsal çift olarak Petrie (1947) tarafından keşfedildi. Petrie (1947) ayrıca sistemin yörünge parametrelerini de belirledi. Yörünge parametrelerini daha duyarlı bir şekilde tayfsal olarak belirleyen diğer bir kişi de Popper (1974)'dir ve bileşenlerin kütlelerini ( $11.8 M_{\odot}$ ,  $11.1 M_{\odot}$ ) de % 2 duyarlılıkla belirlemiştir. Popper ve Hill (1991), Popper (1974)'ün elde ettiği tayfsal verileri yeniden ele almışlar ve mutlak parametreleri yeniden belirlemişlerdir. Petrie (1950) ve Rachkovskaya (1971) tayftan bileşenler arasındaki parlaklık farkını, sırasıyla  $\Delta m=0.30 \pm 0.05$  ve  $\Delta m=0.22$  olarak belirlediler. Stickland ve ark. (1992), IUE uydusunun yüksek çözünürlüklü, ultraviyole radyal hız gözlemlerini analiz ettiler. Bunun sonucunda bileşenlerin kütlelerini sırasıyla  $12.9 M_{\odot}$  ve  $11.9 M_{\odot}$  ve yarıçaplarını  $5.64 R_{\odot}$  ve  $5.14 R_{\odot}$  olarak buldular. Ayrıca  $a \sin i=23.8 R_{\odot}$  ve  $e=0.0293$  olarak elde ettiler. Popper (1974), Clausen ve Gimenez (1991) tarafından yıldızın tayf sınıflaması her iki bileşen için de B0.5 V olarak verilmiştir.

Pachoulakis ve ark. (1996) CW Cep sisteminden olan yıldız rüzgarlarının büyüklüğü, yapısı ve geometrisini çalıştılar ve baş bileşene ait rüzgarın yoldaşından daha yoğun olduğunu önerdiler. Ayrıca baş ve yoldaş bileşene ait kütle kayıp oranlarını, sırasıyla  $1.0 \times 10^{-8} M_{\odot}/\text{yıl}$  ve  $3.2 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{yıl}$  olarak hesapladılar. Senkronize değerlerden % 50 daha fazla olan bileşenlere ait dönme hızları, Rachkovskaya (1971) ve Garmany (1973) tarafından ölçülmüştür. Rachkovskaya (1971) bileşenlerin dönme hızlarını büyük ve küçük kütleli bileşenler için, sırasıyla 132 km/s ve 138 km/s olarak vermiştir.

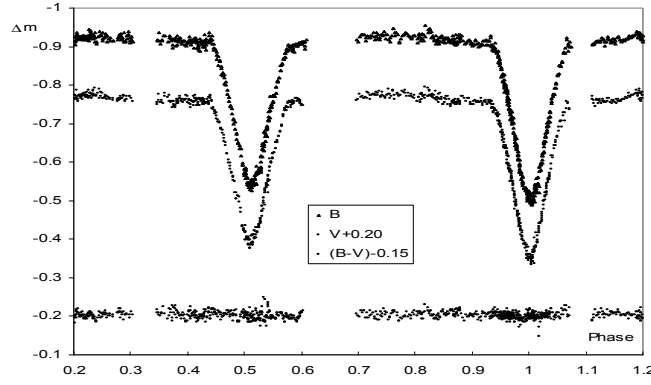
Gaposchkin (1949) tutulmaları fotoğrafik olarak ortaya koydu. İlk geniş band fotoelektrik ışık eğrisi Abrami ve Cester (1960) tarafından verildi ve üç tane farklı yarıçap oranı değerleri,  $k=0.70$ ,  $0.75$  ve  $0.80$  için CW Cep'in yörünge parametrelerini elde ettiler. Fotometrik parametreler, fotometrik gözlemlerden Nha (1975) ve Söderhjelm (1976) tarafından belirlendi. Daha sonraki yıllarda çeşitli yazarlar farklı yöntemler kullanarak, fotometrik parametreleri elde ettiler. Bugüne kadar yapılan ışık eğrisi çözümleri ve kullanılan yöntemler şunlardır: Cester ve ark. (1978) WINK model, Clausen ve Gimenez (1991) EBOP model, Terrel (1991), Yim ve ark. (1996) ve Wonyong ve ark. (2002) Wilson-Devinney model, Soyduğan ve ark. (2001) ILOT yöntemini kullanmışlardır.

CW Cep eksen dönmesi gösteren ve eksentrik yörüngeye sahip olan bir sistemdir. Eksen dönmesi, Nha (1975), Söderhjelm (1976), Scarfe (1986), Gimenez ve ark. (1987), Clausen ve Gimenez (1991) ve Wonyong ve ark. (2002) tarafından çalışıldı. Eksen dönme dönemi ilk kez Nha (1975) tarafından belirlendi ve değeri 39 yıl civarında bulundu ve daha sonra Scarfe (1986), Gimenez ve ark. (1987), Clausen ve Gimenez (1991) ve son olarak Wonyong ve ark. (2002) ise eksen dönme dönemini 45 yıl civarında buldular.

Blaauw ve ark. (1959) sistemin Cep OB3 üyesi olduğunu önerdiler. Cep OB3 de yaklaşık olarak bilinen 40 üye vardır ve fotometrik olarak farklı iki ayrı alt gruba ayrılır (Blaauw, 1964). CW Cep, Cep OB3'e ait daha yaşlı olan alt grubun üyesidir ve sistemin yaşı  $(10 \pm 1) 10^6$  yıl olarak Clausen ve Gimenez (1991) tarafından verilmiştir.

## 2. Gözlemler

CW Cep'in yeni fotometrik gözlemleri 14 gece 2000 gözlem sezonunda 40 cm'lik Schmidt-Cassegrain teleskop ile TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde B ve V süzgeçleriyle yapıldı. Gözlemlerde, Hamamatsu, R 4457 (PMT) dedektör içeren SSP5-A fotometrisi kullanıldı. BD  $+62^{\circ} 2162=HD 217979$  mukayese yıldızı olarak seçildi. Gözlemler süresince mukayese yıldızında ışık değişimi görülmedi. Toplam olarak B ve V süzgeçlerinde sırasıyla 951, 941 gözlem noktası ve Kwee ve van Worden (1956) yöntemi kullanılarak sisteme ait üç tane minimum zamanı Soyduğan ve ark. (2001) tarafından elde edildi. Mukayese yıldızının gözlemlerinden her bir gözlem gecesi için her bir süzgeçteki atmosferik sönmülme katsayıları hesaplanarak atmosfer sönmükleştirme düzeltmeleri yapılmış ve gözlemler güneş merkezine indirgenmiştir. Tüm aletsel B ve V parlaklıkları (değişen-mukayese) atmosferik sönmülme göre düzeltildi. B ve V ışık ve (B-V) renk eğrileri, Şekil 1'de yer almaktadır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, sistemin renk eğrisinde ise herhangi bir değişim görülmemektedir.



Şekil 1. CW Cep'in B ve V ışık ve (B-V) renk eğrileri.

## 3. Işık Eğrisi Analizi

CW Cep Algol türü ayrık bir çift yıldız sistemidir bu nedenle, gözlemsel veriyle uyuşan teorik eğrileri elde etmek için, Wilson-Devinney (WD) (1992) çözümünde (Mod 2) kullanıldı. Çözümde B ve V süzgeçlerinde sırasıyla, 146 ve 148 normalize nokta kullanıldı ve veri ağırlıkları, normalize noktalar hesaplanırken kullanılan gözlem noktası sayısına göre seçildi.

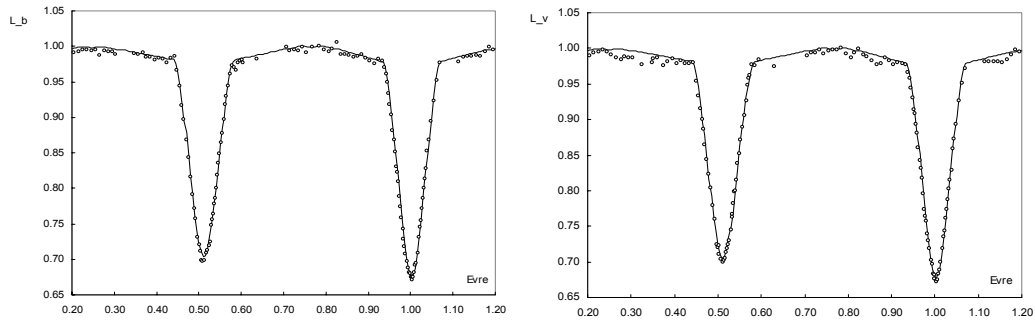
W-D çözümünde tüm iterasyon boyunca, bazı parametreler serbest ve bazıları da sabit parametre olarak kabul edildi. Yörünge dış merkezliği ( $e$ ), enberinin boylamı ( $w$ ), evre kayması ( $\Delta$ ), yörünge eğikliği ( $i$ ), yoldaşın akı-ağırlıklı ortalama yüzey sıcaklığı ( $T_2$ ), yıldız yüzeyi potansiyelleri ( $\Phi_{1,2}$ ), kütle oranı ( $q=m_2/m_1$ ) ve baş yıldızın kesirsel ışıması ( $L_1$ ) differansiyel iterasyon süresince ayarlanabilir parametre olarak seçildi. Clausen ve Gimenez (1991), CW Cep'in bileşenlerinden daha kırmızı, sisteme yakın ve toplam ışığa katkısı az olan bir üçüncü cismin varlığını önerdiler. Bu nedenle ışık eğrisi çözümlerinde, dört ayrı çözüm denemesi yapıldı ve  $I_3$ 'ün etkisinin olduğu çözümlerde  $I_3$  de serbest parametre olarak alındı. Tek renk logaritmik kenar kararım katsayıları ( $X_{1,2}$ ) Diaz-Cordoves ve ark. (1995)'den, bolometrik logaritmik kenar kararım katsayıları ( $X_{bol,1,2}$ ) Wilson (1990)'dan seçildi. Çekim kararım üsleri ( $g_{1,2}$ ), von Ziepel (1924)'den 1.0 (radyatif atmosferler için) olarak ve bolometrik albedolar ( $A_{1,2}$ ) ise; Rucinski (1969)'den (radyatif atmosferler için) 1.0 olarak alındı. Baş bileşenin yüzey sıcaklığı için, literatürde Clausen ve Gimenez (1991)'in verdiği 28300 K değeri alındı. Bu öğeler tüm çözümlerde, tüm iterasyonlar süresince, sabit parametre olarak seçildi.

F dönme ögesinin çözümlere olan etkisini görmek ve aynı verinin farklı yaklaşımlar altındaki çözümlerini karşılaştırmak amacıyla iki farklı model kullanıldı: (i) Eşdönmeyen ayrık konfigürasyon ve (ii) Eşdönen ayrık konfigürasyon.

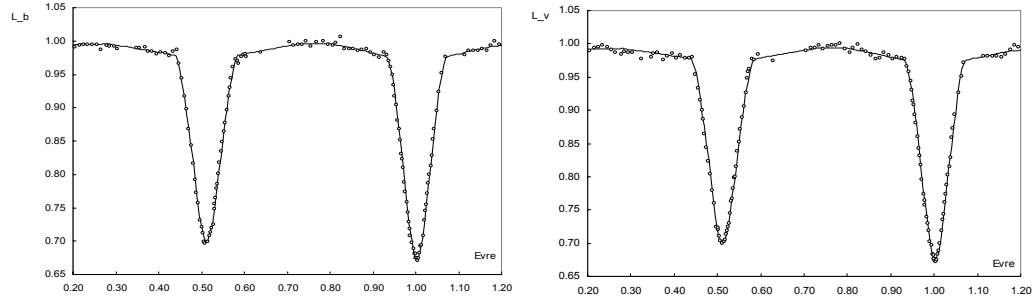
### 3.1 Eşdönmeyen Ayrık Konfigürasyon Yaklaşımı

Eşdönme ayırık konfigürasyon kabulü altında, F dönme ögeleri için, Kaike Pan ve ark.'nın (1998) hesapladığı değerler kullanıldı. Buna göre,  $F_1=1.16$  ve  $F_2=1.26$  olarak alındı. Böylece, gözlemsel sonuçlara dayalı "eşdönme ayırık konfigürasyon varsayımı", karacisim ışınımı, logaritmik kenar karama ve basit yansıma yasalarının geçerliliği varsayımı altında; W-D (1992) programı, B ve V süzgeçlerinde eş zamanlı olarak çalıştırıldı. Bu varsayımda;  $I_3$ 'ün katkısını görmek ve çözümleri karşılaştırabilmek için, iki farklı çözüm denemesi yapıldı: (i) üçüncü cismin ışığının katkısının olmadığı çözüm (ii) üçüncü cismin ışığının katkısının olduğu çözüm.

Bulunan sonuçlar Çizelge 1'de; teorik eğrilerin gözlem noktalarıyla karşılaştırılması Şekil 2, 3'de verilmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, W-D çözümüyle elde edilen teorik eğrilere baktığımızda, üçüncü cismin ışığının katkısının olmadığı çözümlerde, teorik eğrilerin normalize noktalarla iyi bir uyum içinde olmadıkları, teorik eğrilerin normalize noktaların üstünde kaldıkları, minimumların ve maksimumların iyi temsil edilmediği görüldü. Fakat üçüncü cismin katkısının olduğu çözümlerde; Şekil 3'den görüldüğü gibi, teorik eğrilerin normalize noktaları iyi bir şekilde temsil ettiği görülmektedir.



**Şekil 2.** CW Cep'in B ve V süzgeçinde gözlemsel normal noktaları ve eşdönme ayırık konfigürasyon yaklaşımında; eş zamanlı çözümü sonunda elde edilen kuramsal eğriler.

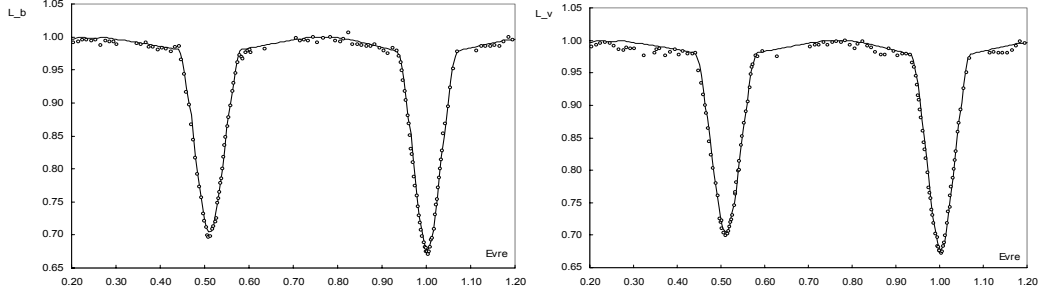


**Şekil 3.** CW Cep'in B ve V süzgeçinde gözlemsel normal noktaları ve eşdönme ayırık konfigürasyon yaklaşımında ve üçüncü cismin katkısının da ele alındığı; eş zamanlı çözümü sonunda elde edilen kuramsal eğriler.

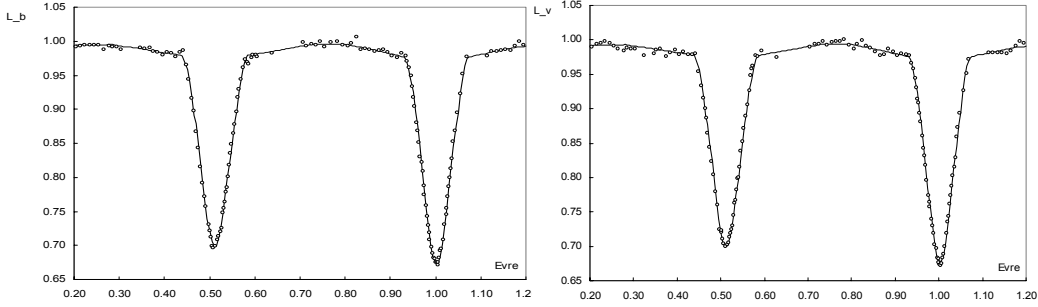
### 3.2 Eşdönen Ayırık Konfigürasyon Yaklaşımı

Literatürdeki ışık eğrisi çözümleri çoğunlukla eşdönme varsayımı altında yapılmıştır. Bu çalışmada da bileşenlerin eşdöndükleri varsayılarak; F dönme ögelerini  $F_1=1.0$  ve  $F_2=1.0$  olarak aldık. Böylece gözlemsel sonuçlara dayalı "eşdönen ayırık konfigürasyon varsayımı", karacisim ışınımı, logaritmik kenar karama ve basit yansıma yasalarının geçerliliği varsayımı altında; W-D (1992) programı, B ve V süzgeçlerinde eş zamanlı olarak çalıştırıldı. Bulunan sonuçlar Çizelge 1'de teorik eğrilerin normalize noktalarla karşılaştırılması da Şekil 4 ve 5'de verilmektedir. Eşdönme ayırık konfigürasyon yaklaşımında olduğu gibi; eşdönen ayırık konfigürasyon yaklaşımında da karşılaştırma yapmak için, üçüncü cismin ışığının katkısının olduğu ve olmadığı çözüm denemeleri yapıldı. Üçüncü cismin katkısının olmadığı çözümde Şekil 4'den görüldüğü gibi; teorik eğrinin, normalize noktaları iyi bir

şekilde temsil etmediği görülmektedir. Üçüncü cismin ışığının katkısının olduğu çözümde ise; çok daha iyi bir çözüm elde edildi. Şekil 5'de ise, teorik eğrinin normalize noktaları iyi temsil ettiği görülmektedir.



**Şekil 4.** CW Cep'in B ve V süzgecinde gözlemsel normal noktaları ve eşdönen ayırık konfigürasyon yaklaşımında; eş zamanlı çözümü sonunda elde edilen kuramsal eğriler.

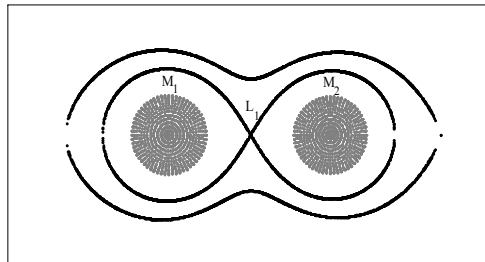


**Şekil 5.** CW Cep'in B ve V süzgecinde gözlemsel normal noktaları ve eşdönen ayırık konfigürasyon yaklaşımında ve üçüncü cismin katkısının da ele alındığı ; eş zamanlı çözümü sonunda elde edilen kuramsal eğriler.

### 3. Tartışma ve Sonuçlar

CW Cep'in ışık eğrisi analizi, dört farklı yaklaşım altında yapılmıştır. Bunun sonucunda;  $\chi^2 W(O-C)^2$ 'si en küçük olan ve gözlemsel veriyi en iyi temsil eden yaklaşımın; sistemin eşdönme gösterdiği ve üçüncü cisim katkısının da ele alındığı çözüm denemesi olduğu görülmüştür. Sistemin eşdönme göstermediği ve üçüncü cisim katkısının da ele alındığı çözümler sonucunda elde edilen teorik eğrinin de gözlemsel veriyi iyi temsil ettiği görülmektedir fakat bileşenlere ait dönme hızı değerlerinin duyarlı olmadığı düşünüldüğünden, en iyi çözümün bu olamayacağına karar verilmiştir. Çözümler sonucunda elde edilen üçüncü cismin ışığının, toplam ışığa katkısı %1 civarındadır. Bu değer oldukça küçük olmasına karşın, hem eşdönme hem de eşdönmenin olmadığı durumda, üçüncü cismin ışığının olmadığı çözümlerde, teorik eğrilerin gözlemsel veriyi iyi temsil etmediği ve teorik eğrilerin normalize noktaların yukarısında kaldığı, Şekil 2 ve 4' den görülmektedir. Çözümler sonucunda CW Cep sisteminin yanında oldukça sönük bir üçüncü cismin olduğuna karar verilmiştir.

CW Cep'in W-D çözümü sonucunda bulunan sonuç parametreleri kullanılarak, sistemin Roche geometrisi oluşturulmuştur. Şekil 6' dan görüldüğü gibi her iki bileşende henüz Roche lobunu doldurmamış olup bileşenlerin yarıçapları birbirine oldukça yakındır.



**Şekil 6.** CW Cep'in Roche geometrisi**Çizelge 1.** CW Cep'in ışık eğrisi çözümü sonunda bulunan sonuç parametreleri ve hataları

parameter	Senkronize B+V	Senkronize+I3 B+V	Non-senkronize B+V	Non-senkronize+I3 B+V
i	81 <sup>0</sup> .452 ± 0.024	83 <sup>0</sup> .044 ± 0.067	81 <sup>0</sup> .480 ± 0.023	82 <sup>0</sup> .852 ± 0.076
T <sub>1</sub> (K)	28300	28300	28300	28300
T <sub>2</sub> (K)	27167 ± 39	27090 ± 31	27195 ± 39	27181 ± 40
Ω <sub>1</sub>	5.4185 ± 0.0076	5.3671 ± 0.0084	5.4246 ± 0.0080	5.3927 ± 0.0080
Ω <sub>2</sub>	5.5632 ± 0.0099	5.3066 ± 0.0109	5.5771 ± 0.0111	5.5626 ± 0.0114
Phase shift	0.0069 ± 0.0001	0.0070 ± 0.0001	0.0069 ± 0.0001	0.0070 ± 0.0001
q	0.97817 ± 0.00189	0.93869 ± 0.00292	0.97575 ± 0.00216	0.98451 ± 0.00300
e	0.0320 ± 0.0005	0.0308 ± 0.0006	0.0318 ± 0.0004	0.0310 ± 0.0005
w	63.70 ± 0.48	61.84 ± 0.64	63.49 ± 0.49	62.78 ± 0.51
X <sub>1</sub>	0.352	0.352	0.352	0.352
X <sub>2</sub>	0.313	0.313	0.313	0.313
g <sub>1</sub>	1.0	1.0	1.0	1.0
g <sub>2</sub>	1.0	1.0	1.0	1.0
L <sub>1</sub> / (L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> +L <sub>3</sub> )	0.5413 (B) 0.5396 (V) ± 0.0018 ± 0.0017	0.5272 (B) 0.5250(V) ± 0.0074 ± 0.0034	0.5410 (B) 0.5391(V) ± 0.0018 ± 0.0018	0.5363 (B) 0.5343(V) ± 0.0030 ± 0.0030
L <sub>2</sub> / (L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> +L <sub>3</sub> )	0.4587 (B) 0.4604 (V)	0.4628 (B) 0.4644(V)	0.4592 (B) 0.4609 (V)	0.4547 (B) 0.4561(V)
L <sub>3</sub> / (L <sub>1</sub> + L <sub>2</sub> +L <sub>3</sub> )	-	0.0100 (B) 0.0106(V) ± 0.0004 ± 0.0004	-	0.0090 (B) 0.0096(V) ± 0.0004 ± 0.0004
r <sub>1</sub> (pole)	0.226	0.226	0.225	0.227
r <sub>1</sub> (point)	0.234	0.234	0.234	0.237

E. Soyduğan vd: Cepheus OB3 Üyesi CW Cep'in Işıık Eğrisi Analizi

$r_1$ (side)	0.228	0.229	0.229	0.231
$r_1$ (back)	0.232	0.232	0.233	0.235
$r_2$ (pole)	0.215	0.220	0.214	0.216
$r_2$ (point)	0.222	0.228	0.223	0.225
$r_2$ (side)	0.217	0.222	0.218	0.220
$r_2$ (back)	0.221	0.226	0.221	0.224
$\square W(O-C)^2$	0.00405	0.00329	0.00393	0.00345

**Teşekkür:** Bu çalışma TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi tarafından gözlem projesi olarak desteklenmiştir.

**Kaynaklar**

- Abrami, A., and Cester, B. 1960, Publ. Oss. Astron. Trieste No. 300  
Blaauw, A., Hiltner, W. A., and Johnson, H. L. 1959, ApJ, 130, 69  
Blaauw, A. 1964, ARA&A, 2, 213  
Cester, B., Fedel, B., Giuricin, G., Mardirossian, F., and Mezzetti, M. 1978, A&AS, 33, 91  
Clausen, J. V., and Gimenez, A. 1991, A&A, 241, 98  
Diaz-Cordoves, J., Claret, A., and Gimenez, A. 1995, A&AS, 110, 329  
Gaposchkin, G. 1949, Variable Stars, 7, 34  
Garmany, C. D. 1973, AJ, 78, 185  
Gimenez, A., Kim, C.-H., and Nha, I.-S. 1987, MNRAS, 224, 543  
Han, W., Kim, C.-H., Lee, W.-B., and Koch, R. H. 2002, A&A, 123, 2724  
Nha, I.-S. 1975, AJ, 80, 232  
Pan, K., Tan, H., and Shan, H. 1998, A&A, 335, 179  
Petrie, R. M. 1947, Publ. Dom. Astrophys. Obs., 7, 305  
Petrie, R. M. 1950, Publ. Dominion Astrophys. Obs., 8, 319  
Popper, D. M. 1974, ApJ, 188, 559  
Popper, D. M., and Hill, G. 1991, AJ, 101, 600  
Rachkovskaya, T. M. 1971, Publ. Crimean Astrophys. Obs., 43, 87  
Rucinski, S. M. 1969, Acta Astron., 19, 245  
Scarfe, C. D. 1986, IAU Symp. No. 118, eds. J. B. Hearnshaw, P. L. Cottrell., Reidel, Dordrecht, p. 319  
Soyduğan, E., Demircan, O., Keskin, V., Erdem, A., Çiçek, C., Özdemir, S., Bulut, İ., and Soyduğan, F. 2001, IBVS, 5154  
Soyduğan, E., Bakis, V., Aygun, S., Ozkardes, B., and Inan, A. 2001, Communique, 2, 4  
Söderhjelm, S. 1976, A&AS, 25, 151  
Stickland, D. J., Koch, R. H., and Pfeiffer, R. J. 1992, Observatory, 112, 277  
Terrel, D. 1991, MNRAS, 250, 209  
von Zeipel, H. 1924, MNRAS, 84, 665  
Wilson, R. E. 1992, Documentation of Eclipsing Binary Computer Model, Revision of 1992: May University of Florida  
Yim, J. R., Kim, C.-H., and Han, W. 1996, Korean Astron. Soc., 29, S241